



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10135916 A**

(43) Date of publication of application: 22.05.98

(51) Int. Cl. H04B 10/20  
H04J 14/00  
H04J 14/02

(21) Application number: 09279195

(22) Date of filing: 13.10.97

(30) Priority: 10.10.96 US 96 728427

(71) Applicant: NORTHERN TELECOM LTD

(72) Inventor: MACDONALD IAN R  
WILLEMSSEN HERMAN W

**(54) METHOD FOR DECIDING ROUTE OF TRAFFIC IN WAVELENGTH BYPASS RING NETWORK AND OPTICAL RING NETWORK**

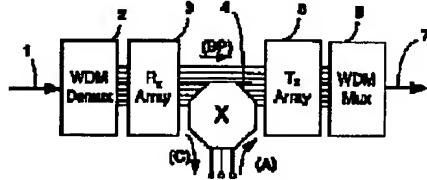
set 6, the optical signal 7.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a bypassed wavelength ring network for avoiding the inconvenience of a utilizable optical network by directly bypassing a node any time, when the node is not a transmission destination channel to an input channel.

**SOLUTION:** Input signals 1 are demultiplexed in a multiplexer 2, corresponding to the wavelengths and outputted to a reception array 3 for the respective wavelengths. Then, the reception array 3 converts the optical signals into electric signals. Some electric signals end at the node (c), and the other electric signals indicated by (BP) enter a transmission array 5 for generating a set of the optical carrier waves of the different wavelengths on the output side of the node. Also, signals (A) started at the node are connected to the bypass channel WBP. Signal routing is performed by a cross connection switch 4, and outputting to a desired transmitter is performed. Then, the optical signals outputted by the transmission array 5 are multiplexed in the multiplexer 6 and turned into the output of a WDM



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-135916

(43)公開日 平成10年(1998)5月22日

(51)Int.Cl.\*

H 04 B 10/20

H 04 J 14/00

14/02

識別記号

F I

H 04 B 9/00

N

E

審査請求 未請求 請求項の数19 OL (全 18 頁)

(21)出願番号 特願平9-279195

(22)出願日 平成9年(1997)10月13日

(31)優先権主張番号 08/728 427

(32)優先日 1996年10月10日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 390023157

ノーザン・テレコム・リミテッド

NORTHERN TELECOM LIMITED

カナダ国, エイチ2ワイ 3ワイ4, ケベック, モントリオール, エスティ. アントイン ストリート ウエスト 380 ワールド トレード センタ オブ モントリオール 8フロア

(74)代理人 弁理士 酒井 宏明

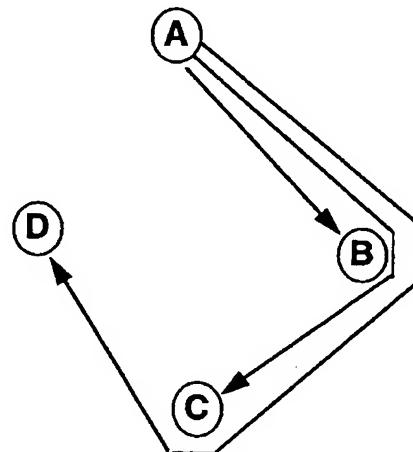
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 波長バイパスリング網および光リング網においてトラヒックの経路を決める方法

(57)【要約】

【課題】 現在利用可能な単一ホップおよび多重ホップの光網の不都合を全体的にまたは部分的に回避するバイパスされた波長リング網を提供する。

【解決手段】 本発明はリング網においてノードをバイパスする波長チャネルの使用するものである。ノード数の少ない網に対して、ノードからノードへの直接経路はリングの物理的なファイバーレイアウトを変更することなく得られる。リングの一部で過度に使用された経路に対して容量を追加する完全に透明な相互接続を提供するアーキテクチャが説明されている。ノード数の大きな網に対して、不十分に接続された網は、幾つかのノード間に高速の直接経路を提供する。不十分に接続された網に対する提案されたアーキテクチャおよびトラヒックのセルフルーティング法も提供される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 リング形状の複数 (N) 個のトラヒックノードおよびトラヒックノードからトラヒックノードまでつなぎ、ノード (n) を下流側のノード (n+1) につなぐファイバースパン  $S_n$  の光ファイバーを備え、n が前記リングにおける前記ノード (n) の連続した位置を表しかつ  $n \in [1, N]$  である光波長バイパスリング網 (WBRN) であって、

前記各ノード (n) は、複数 ( $Q_i$ ) 個の入力チャネルを受信する入力ポートと、

複数 ( $Q_o$ ) 個の出力チャネルを送信する出力ポートと、

$q \in [1, Q]$  とするとき、搬送波長  $\lambda_q$  を有する入力チャネルを同じ搬送波長  $\lambda_q$  の出力チャネルに、前記ノード (n) が前記入力チャネルに対する伝送先チャネルでない場合にいつも前記ノード (n) をバイパスして直接接続するバイパス手段と、

を具備することを特徴とする波長バイパスリング網。

【請求項2】 前記トラヒックは單一方向であることを特徴とする請求項1に記載の波長バイパスリング網。

【請求項3】 前記バイパス手段は電子的、光電子的または光的なスイッチのうちの1つを備えていることを特徴とする請求項1に記載の波長バイパスリング網。

【請求項4】 周期的な網をなすために  $(Q_i) = (Q_o) = Q$  であることを特徴とする請求項2に記載の波長バイパスリング網。

【請求項5】 各ファイバースパン  $S_n$  に、  
 $Q = N(N-1)/2$

の伝送チャネルを備えた單一ホップの十分に接続されたリング網をなすために、前記各ノード (n) は残りの  $(N-1)$  個の各ノードに直接経路を介して直接接続されることを特徴とする請求項4に記載の波長バイパスリング網。

【請求項6】  $f \in [1, N]$ かつ  $(m)$  を1以上の整数とする時、前記ノード (n) と前記ノード (n+1) との間で全ての  $(f)$  個のファイバースパン  $S_n$ 、 $S_{n+1}$ 、 $\dots$   $S_{n+f}$  に  $(Q+m)$  個の伝送チャネルを備えた單一ホップの過剰に接続されたリング網をなすために、前記各ノード (n) は残りの  $(N-1)$  個の各ノードに直接接続されるとともに、さらに  $(m)$  個の付加された伝送チャネルによってノード  $(n+f)$  に接続されることを特徴とする請求項2に記載の波長バイパスリング網。

【請求項7】  $(p)$  が1からPまでの連続した整数をとり、かつ  $2 < P < (N-1)$  とするとき、各ノード (n) は伝送先ノード群 (p) の部分的な集合 (P) に接続されていることを特徴とする請求項2に記載の波長バイパスリング網。

【請求項8】 周期的な多重ホップの不十分に接続されたリング網をなすために  $(Q_i) = (Q_o) = Q$  である

ことを特徴とする請求項7に記載の波長バイパスリング網。

【請求項9】 前記部分的な集合の前記各伝送先ノード (p) はバイナリの所定の連続した位置 (2p) を有していることを特徴とする請求項8に記載の波長バイパスリング網。

【請求項10】 前記部分的な集合の前記各伝送先ノード (p) はリニアの所定の連続した位置を有していることを特徴とする請求項8に記載の波長バイパスリング網。

【請求項11】 ノード数 (N) は3から8までの間にあり、かつファイバースパンでのチャネル数 (Q) は3と28の間にあることを特徴とする請求項1に記載の波長バイパスリング網。

【請求項12】 前記はトラヒックは双方であることを特徴とする請求項1に記載の波長バイパスリング網。

【請求項13】 Nを奇数とするとき、各ファイバースパン  $S_n$  に、

$$Q = N^2 - 1/2$$

の伝送チャネルを備えた單一ホップの十分に接続されたリング網をなすために、各ノード (n) は残りの  $(N-1)$  個の各ノードに接続されることを特徴とする請求項12に記載の波長バイパスリング網。

【請求項14】 リング形状の複数 (N) 個のトラヒックノードおよびトラヒックノードからトラヒックノードまでつなぎ、ノード (n) を下流側のノード (n+1) につなぐファイバースパン  $S_n$  の光ファイバーを備え、n が前記リングにおける前記ノード (n) の連続した位置を表しかつ  $n \in [1, N]$  である光リング網においてトラヒックの経路を決める方法であって、

$$Q = N(N-1)/2$$

でかつ  $q \in [1, Q]$  であるとするとき、各ファイバースパン  $S_n$  に沿って、各伝送チャネルが個別の波長  $\lambda_q$  を有する  $Q$  個の伝送チャネルを設けるステップと、  
 $C = N-1$  であり、伝送チャネル  $\lambda_1$  からなる部分的な集合 (C) を前記各ノード (n) に割り当てるステップと、

$p \in [1, N]$  であるとき、各ノード (n) で、(C) 個の直接單一ホップ経路、前記ノード (n) を伝送先ノード (p) に接続するための單一ホップ経路 (R) を、前記直接経路 (R) が直接伝送チャネル  $\lambda_1$  およびバイパス伝送チャネル  $\lambda_1$  のうちの1つからなり、前記ノード (n) と前記伝送先ノード (p) との間に含まれる前記リングの一部に設けられた全ノードに沿ってバイパス伝送チャネルが透明に進むように、設けるステップと、前記リング網の何れかのノード (n) と何れかの伝送先ノード (p) との間で前記單一ホップ経路を用いてプロトコルデータユニットを伝送するステップと、を含むことを特徴とする光リング網においてトラヒックの経路を決める方法。

【請求項15】  $C=N-1$  であり、伝送チャネル入。  
からなる部分的な集合 (C) を前記各ノード (n) に割り当てるステップは、 $f \in [2, N]$  かつ  $(m)$  を1以上の整数とする時、前記ノード (n) と伝送先ノード (f) との間で全てのファイバースパン  $S_n, S_{n+1}, \dots, S_{n+f}$  に  $(Q+m)$  個の伝送チャネルを備えた单一ホップの過剰に接続されたリング網を得るために、さらに前記ノード (n) と選択された伝送先ノード (f) との間に  $(m)$  個の付加されたチャネルを設けるステップを含むことを特徴とする請求項14に記載の光リング網においてトラヒックの経路を決める方法。

【請求項16】 リング形状の複数 (N) 個のトラヒックノードおよびトラヒックノードからトラヒックノードまでつなぎ、ノード (n) を下流側のノード (n+1) につなぐファイバースパン  $S_n$  の光ファイバーを備え、nが前記リングにおける前記ノード (n) の連続した位置を表しかつ  $n \in [1, N]$  である光リング網においてトラヒックの経路を決める方法であって、

(p) が1からPまでの連続した整数値をとり、かつ  $P < N-1$  とするとき、伝送先ノード (p) の部分的な集合 (P) を選択するステップと、

$q \in [1, Q]$  であるとするとき、各ファイバースパン  $S_n$  に沿って、各伝送チャネルが個別の波長  $\lambda_q$  を有するQ個の伝送チャネルを設けるステップと、

$C=N-1$  であり、伝送チャネル入。  
からなる部分的な集合 (C) を前記各ノード (n) に割り当てるステップと、

各ノード (n) で、(C) 個の直接経路、前記ノード (n) を中間ノード (j) に接続するための直接経路 (R) を、前記直接経路 (R) が直接伝送チャネル入。  
およびバイパス伝送チャネル入。のうちの1つからなり、前記ノード (n) と前記中間ノード (j) との間に含まれる前記リングの一部に設けられた全ノードに沿ってバイパス伝送チャネルが透明に進むように、設けるステップと、

何れかのノード (n) と何れかの伝送先ノード (p) との間で複数の直接経路を用いてプロトコルデータユニット (PDU) を伝送するステップと、

を含むことを特徴とする光リング網においてトラヒックの経路を決める方法。

【請求項17】 プロトコルデータユニット (PDU) を伝送する前記ステップは、

(a) 前記PDUを記憶するために前記リング網の前記各ノード (n) に記憶手段を設けるステップと、

(b) 前記PDUの伝送のために前記PDUのアドレスを決めるとともに波長入を割り当てるステップと、

(c) ノード (n) で、前記記憶手段から前記PDUを読み出し、前記ノード (n) から中間ノード (j) までの前記PDUの経路を、波長入の前記直接およびバイパス伝送チャネルの1つに沿って自分で決め、かつ前記中

間ノード (j) にて前記記憶手段に前記PDUを記憶するステップと、

(d) 前記PDUが不都合なく配信された場合に前記PDUを前記記憶手段から消去するステップと、

(e) 前記中間ノード (j) で、前記PDUのアドレスを決め、前記記憶手段から前記PDUを読み出し、さらなる中間ノード (j+1) が前記伝送先ノード (p) ではない場合に、さらに前記中間ノード (j) から前記さらなる中間ノード (j+1) および前記伝送先ノード (p) のうちの1つまでさらなる波長入のチャネルに沿う前記PDUの経路を自分で決めるステップと、

(f) 前記PDUが前記伝送先ノード (p) に着信するまでステップ (d) およびステップ (e) を繰り返すステップと、

を含むことを特徴とする請求項16に記載の光リング網においてトラヒックの経路を決める方法。

【請求項18】 ステップ (e) で、波長入の前記チャネルが空いていない場合、前記PDUは前記中間ノード (j) の前記記憶手段に格納されることを特徴とする請求項17に記載の光リング網においてトラヒックの経路を決める方法。

【請求項19】 プロトコルデータユニット (PDU) を伝送する前記ステップは、

(a) 前記PDUを記憶するために前記リング網の前記各ノード (n) に記憶手段を設けるステップと、

(b) 前記PDUに対して、前記伝送先ノード (p) と前記ノード (n) との間のノード数を表すルートインデックス (RI) を決めるステップと、

(c) ノード (n) で、空いている波長  $\lambda_k$  の伝送チャネルを見つけるとともに、前記空いている伝送チャネルに対する経路インデックスを決め、かつ前記経路インデックスによって前記RIを更新するステップと、

(d) ノード (n) で、前記記憶手段から前記PDUを読み出し、前記ノード (n) から中間ノード (j) までの前記PDUの経路を、波長  $\lambda_k$  の前記空いている伝送チャネルに沿って自分で決め、かつ前記中間ノード (j) にて前記記憶手段に前記PDUを記憶するステップと、

(e) 前記中間ノード (j) で、波長  $\lambda_{k+1}$  のさらなる空いている伝送チャネルを見つけるとともに、前記さらなる空いている伝送チャネルに対するさらなる経路インデックスを決め、かつ前記さらなる経路インデックスによって前記RIを更新するステップと、

(f) 前記中間ノード (j) の前記記憶手段から前記PDUを読み出し、さらなる中間ノード (j+1) が前記伝送先ノード (p) ではない場合に、前記中間ノード (j+1) から前記さらなる空いている伝送チャネルに沿う前記PDUの経路を自分で決め、前記さらなる中間ノード (j+1) の前記記憶手

段に前記PDUを記憶するステップと、

(g) 前記PDUが前記伝送先ノード(p)に着信したことを前記RIが示すまでステップ(e)からステップ(g)までを繰り返すステップと、

を含むことを特徴とする請求項16に記載の光リング網においてトラヒックの経路を決める方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長バイパスリング網(WBRN)に関し、さらには容量の拡大および経路決定の両方を提供するために比較的小規模な光リング網の接続点において固定経路のWDMチャネルを用いたアクセスタイプの網に関する。

【0002】

【従来の技術】近年のコンピュータおよび遠隔通信技術の急速な発展は、最も成功した伝送媒体の一つであり、一般に高伝送速度および低エラーレートで使用することができる光ファイバーを作り出した。電話加入者の要求にこたえて網のオーナーは現在ビジネスおよび家庭向けの用途にファイバーを用い得るシステムを開発中である。

【0003】多くの既存の遠隔通信技術はできるだけ速くトラヒックを中継するという考え方に基づいている。この考え方にはしばしば高速パケット中継または高速パケット交換と呼ばれる。一般にパケット網には2つのタイプがある。すなわち可変サイズのプロトコルデータユニット(PDU)を伝送するフレーム中継と、固定長のPDUすなわちセルを伝送するセル中継である。セルは5オクテット(バイト)のヘッダを有する課金対象である48オクテットからなり、わずかに違いはあるものの、非同期通信モード(ATM)および首都圏情報網(MAN)の標準規格の両方に使用されている。

【0004】同期光網(SONET)の標準規格は物理的なインターフェース、光搬送(OC)信号として知られている光伝送速度、フレームフォーマットおよびOA&Mプロトコルを定義している。ユーザ信号は同期転送信号(STS)と呼ばれる標準的な電気的フォーマットに変換される。そのフォーマットは光信号(OC)のフォーマットに相当する。

【0005】データ通信のアクセス網は近時その特性が改善されており、100Mbpsを超える伝送容量を必要とする画像、音声、データおよび他の情報を処理するために、より多くの機能を有するようになってきている。この傾向はより高速でより高スループットのアクセス網に対する要望が増大していることによる。

【0006】現在のアクセス網は一般にツリー型またはメッシュ型のスターを有している。リング形態は、費用効率の高い網アーキテクチャが帯域幅の分割およびスパン損失を起こす場合に改善された残存性を可能とするよう考慮されている。一般に、リングはトラヒックを使

用中の保護ファイバー内に挿入したりファイバーから引き抜いたりする付加/引抜マルチプレクサ(ADM)で構成される。しかしながら、自己回復リングには根本的な制限がある。

【0007】なぜならば保護および伝送容量の両方はノード間で共有され、飽和したリングにおいてトラヒックが増大すると、予期しないトラヒックの増大に対して予期しない段階でもってすべてのノードの伝送装置を交換する必要が生じる。解決法は同一ファイバーに複数のチャネルを用いることであり、それらのチャネルがそれらの波長により別々の経路を決められる、波長分割多重(WDM)と呼ばれる技術である。

【0008】WDM伝送は既存のファイバーリンクのマニホールド容量を拡張し得る。その信号を送る可能性も等しく重要である。WDMを導入することによって、多重部分を100%保護しながら、ノードのハードウェアまたは自動スイッチプロトコル(ASP)に対する変化を最小に抑えつつ、効率よくまた費用効率の高い方法でリングの容量が増大され得る。

【0009】波長による経路を利用した網は2つの代表的なタイプ、すなわちノード間に直接経路を設ける単一ホップと、情報のユニットが中間ノードを経由する多重ホップに分類される。単一ホップ網における経路は光ファイバーの経路に無関係であり、各経路は単一の波長を使用する。多重ホップ網においては、ある経路の信号は幾つかのノードを経由して中継されてもよく、その途中で幾つかの波長が使用される。中継ノードは光電変換を含む記憶および転送機能を遂行するか、または単純に転送するだけの交差接続器として振る舞う。

【0010】単一ホップおよび多重ホップのWDM網アーキテクチャは研究されており、C.A.Brackettによる論文「Dense Wavelength Division Multiplexing Networks」(IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.8, No.6, 1990, pp.948-964)およびA.S.Acamporaによる論文「Terabit Lightwave Networks: Multihop Approach」(AT&T Technical Journal, Nov.-Dec.1987, pp.21-34)にはそのような研究の結果が説明されている。

【0011】1994年2月22日付けでNEC株式会社に特許された米国特許第5289302号(Masahiro Eda)は、波長多重リングおよび合図の通過のためにある特定チャネル(波長)を用い、またスイッチ接続を分離する波長を用いたローカルエリアネットワークについて開示している。

【0012】上記論文および特許に開示された研究の大部分は単一ホップ網に対するスターまたはツリー型の物理的なファイバーレイアウトおよび多重ホップ網に対する種々のメッシュ型のファイバーレイアウトに関係している。ファイバーの物理的な配備はしばしばリングの形態をなしているが、この形態に特別に適用されるWDM

案ではない。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、現在利用可能な単一ホップおよび多重ホップの光網の不都合を全体的にまたは部分的に回避するバイパスされた波長リング網を提供することにある。

【0014】本発明の他の目的は、容量の拡大および経路決定の両方を提供するために比較的小規模な光リング網の接続点において固定経路のWDMチャネルを用いた網アーキテクチャを提供することである。波長チャネルは、その幾つかが各ノードをバイパスしてさらにリングに沿って終わるように決められ、実際に促進された光経路を提供する。バイパス経路上の信号は中間ノードによって処理されず、装置に対する要求全体を低減する。

【0015】

【課題を解決するための手段】従って、本発明は、リング形状の複数(N)個のトラヒックノードおよびトラヒックノードからトラヒックノードまでつなぎ、ノード(n)を下流側のノード(n+1)につなぐファイバースパンS<sub>n</sub>の光ファイバーを備え、nがそのリングにおけるノード(n)の連続した位置を表しかつn∈[1, N]である光波長バイパスリング網(WBRN)であって、各ノード(n)は、複数(Q<sub>i</sub>)個の入力チャネルを受信する入力ポートと、複数(Q<sub>o</sub>)個の出力チャネルを送信する出力ポートと、q∈[1, Q]とすると、搬送波長λ<sub>q</sub>を有する入力チャネルを同じ搬送波長λ<sub>q</sub>の出力チャネルに、そのノード(n)が入力チャネルに対する伝送先チャネルでない場合にいつもそのノード(n)をバイパスして直接接続するバイパス手段と、を具備する波長バイパスリング網を提供する。

【0016】また本発明は、リング形状の複数(N)個のトラヒックノードおよびトラヒックノードからトラヒックノードまでつなぎ、ノード(n)を下流側のノード(n+1)につなぐファイバースパンS<sub>n</sub>の光ファイバーを備え、nがそのリングにおけるノード(n)の連続した位置を表しかつn∈[1, N]である光リング網においてトラヒックの経路を決める方法であって、Q=N(N-1)/2かつq∈[1, Q]であるとき、各ファイバースパンS<sub>n</sub>に沿って、各伝送チャネルが個別の波長λ<sub>q</sub>を有するQ個の伝送チャネルを設けるステップと、C=N-1であり、伝送チャネル入<sub>c</sub>からなる部分的な集合(C)を各ノード(n)に割り当てるステップと、p∈[1, N]であるとき、各ノード(n)で、(C)個の直接単一ホップ経路、ノード(n)を伝送先ノード(p)に接続するための単一ホップ経路(R)を、直接経路(R)が直接伝送チャネル入<sub>c</sub>およびバイパス伝送チャネル入<sub>c</sub>のうちの1つからなり、ノード(n)と伝送先ノード(p)との間に含まれるリングの一部に設けられた全ノードに沿ってバイパス伝送チャネルが透明に進むように、設けるステップと、何れかのノード(n)と何れかの伝送先ノード(p)との間で複数の直接経路を用いてプロトコルデータユニット(PDU)を伝送するステップと、を含む方法を提供する。

リング網の何れかのノード(n)と何れかの伝送先ノード(p)との間で単一ホップ経路を用いてプロトコルデータユニットを伝送するステップと、を含む方法を提供する。

【0017】さらに本発明は、リング形状の複数(N)個のトラヒックノードおよびトラヒックノードからトラヒックノードまでつなぎ、ノード(n)を下流側のノード(n+1)につなぐファイバースパンS<sub>n</sub>の光ファイバーを備え、nがそのリングにおけるノード(n)の連続した位置を表しかつn∈[1, N]である光リング網においてトラヒックの経路を決める方法であって、

(p)が1からPまでの連続した整数値をとり、かつP<N-1とするとき、伝送先ノード(p)の部分的な集合(P)を選択するステップと、q∈[1, Q]であるとするとき、各ファイバースパンS<sub>n</sub>に沿って、各伝送チャネルが個別の波長λ<sub>q</sub>を有するQ個の伝送チャネルを設けるステップと、C=N-1であり、伝送チャネル入<sub>c</sub>からなる部分的な集合(C)を各ノード(n)に割り当てるステップと、各ノード(n)で、(C)個の直接経路、ノード(n)を中間ノード(j)に接続するための直接経路(R)を、その直接経路(R)が直接伝送チャネル入<sub>c</sub>およびバイパス伝送チャネル入<sub>c</sub>のうちの1つからなり、ノード(n)と中間ノード(j)との間に含まれるリングの一部に設けられた全ノードに沿ってバイパス伝送チャネルが透明に進むように、設けるステップと、何れかのノード(n)と何れかの伝送先ノード(p)との間で複数の直接経路を用いてプロトコルデータユニット(PDU)を伝送するステップと、を含む方法を提供する。

【0018】本発明の主要な利点は、帯域幅の分割および残存性を可能とする費用効率の高い網アーキテクチャであると考えられるリング形態を使用することである。この発明によるWBRNは、WDM技術を用いることによって既存のファイバーの配備を改善することを可能とし、アクセス網における高容量伝送に役立ち得る。

【0019】またWDM技術を用いることは、多くの顧客の要望および提案の興味深い可能性に適応し得るという点でWBRNを極めて柔軟性のあるものにしている。

【0020】少ないノード数に対して、リングのファイバーの物理的なレイアウトを変えずにノードとノードを直接結ぶ経路がなされ得る。ある適用では、リングの一部で過度に使用されている経路に対して容量を追加する完全に透明な相互接続が設けられ得る。

【0021】従って、そのリングがメッシュ網の一部である場合には、幹線経路が適応されてもよい。WBRNはスター型のファイバーレイアウトよりも十分な1対1の相互接続に対してより多くの波長を使用するが、しかしこの欠点は、WDM容量が十分な相互接続性に対して絶え間ない要求なしで柔軟に割り当てられるものである場合に著しく低減される。

【0022】ノードの数が大きくなりすぎて利用可能な波長数によっては十分に接続することができない場合には、ブロッキングが問題となり得る。ノードにおいてブロックされたPDUの蓄積を示す計算結果は、適切な波長数に対して、例えば20の波長数に対しておよそ10ノードの配備が可能であることを示している。PDUの損失および待ち時間を改善することに対する解決法は、より規模の大きいリングに対して高速の多重ホップ経路を使用することである。

【0023】本発明の透明な多重ホップ網において可能なノード数は、光チャネルのデータ速度がノードによって決められるデータ速度を超える要因に応じて直接的に決まる。チャネルのデータ速度を増大するための進んだ技術は、将来的に網サイズを増大するのに役立つかもしれない。

【0024】記憶および転送WBRNにおいては、セルフルーティングは実施するのに容易であり、経路が確立したことを発信源ノードに知らせる必要はまったくない。バイパスWDM接続はこれらの網における遅延を著しく低減する。

【0025】加えて本発明は、利用可能な各ファイバーを双方向的に使用するための効果的な方法を提供する。適切な波長数、例えば20の波長を有し、20セルのバッファを用いた双方向WBRNにおいて、およそ25ノードが支持され得る。記憶および転送技術は、能動的で電子的な経路と問題の生じないデータ速度での伝送に対して有望棒であり、それゆえ新しい光技術を導入することなく既存のファイバーリングを改善するのに有望である。

#### 【0026】

【発明の実施の形態】本発明の前述および他の目的、特徴並びに利点は以下の添付図面に示された好ましい具体例のより詳細な説明から明らかとなる。

【0027】あるノードを通過する経路は十分に光学的であってもよいし、波長の分波および合波を行う間に光電変換が行われてもよい。図1～図3は経路タイプによる種々のノードタイプのブロック図を示している。本発明の目的ではないので、WBRNの詳細な電気的な図はここでは提供されていない。WBRNノードのハードウェアおよびソフトウェアの設計はトラヒックのプロトコルに依存している。上述したように、WBRNは、固定長のPDU(ATMやMANセル)および可変長のPDUのように何らかのタイプのプロトコルと一緒に使用されてもよい。図1、図2および図3において、光信号は電気信号を表す線よりも太い線を用いて示されている。

【0028】図1は電子バイパスノードを示しており、入力光信号1がそれらの波長に応じてデマルチレクサ2で分波され、そして生じた光信号が、各波長毎に受信機が設けられた受信アレイ3に出力されている。またRxアレイ(受信アレイ3)は光信号を電気信号に変換す

る。幾つかの電気信号はノード(C)で終わっており、図中(BP)で示された他の電気信号は、そのノードの出力側で波長の異なる一組の光搬送波を生成する送信アレイ5に直接進んでいる。

【0029】このノードで始まる信号(A)はこれらのバイパスチャネル(BP)と結合される。信号経路は交差接続スイッチ4によって達成され、その交差接続スイッチ4は信号(A)を所望の送信先へ導くための波長を発する送信機へ出力する。またスイッチ4はこのノードをバイパスするためのチャネルを割り当てるのに使用されてもよい。送信アレイ5によって出力された光信号はマルチレクサ6で合波され、WDMセット7の出力光信号7となる。

【0030】図2はWBRNに対する光バイパスを示しており、この例では対応するノードへ振り分けられた信号(C)のみが電気信号に変換され、一方バイパストラヒック(BP)はそのまま本ノードの出力側に光学的に接続されている。

【0031】交差接続スイッチ4が光スイッチである場合には、光学的な透明性は可能である。図3はWBRNに対して光学的に切り替えられるバイパスノードを示しており、スイッチ4は分波された光信号(C)および(BP)の光スイッチングを行うとともに、本ノードで付加されたトラヒック(A)の切替えを行う。この例では、信号(C)のみが送受信ブロック8において電気信号に変換される。送受信ブロック8はまた本ノードで受信された電気信号(A)を光信号に変換する。

【0032】個々のチャネルの速度は透明な光チャネルの潜在的な特性と比較することによって制限され得るが、図1および図2のノードにおいて示された光電変換は利点を有している。つまり光電変換によって、電子スイッチングおよび記憶、バイパスするチャネルでの波長の再割り当てが可能となり、信号によって搬送された情報に対するアクセス権が与えられる。

【0033】他方、全部が光チャネルの場合の潜在的な帯域幅の利点は実際に理解するには困難であり、経路を決めるためにWDMチャネルを能動的に使用するには波長選択光スイッチング素子または同調送信機もしくは受信機が必要となる。そのようなデバイスを開発することは困難であるが、それらデバイスは将来的には可能となる。

【0034】図1～図3に示すタイプの交差接続スイッチ4は、網におけるリンク容量を割り当てるための手段をもたらすWBRNにおけるバイパス形態の制御に使用され得る。

【0035】本発明の網アーキテクチャは、固定経路のWDMチャネル、单一ファイバーでの巡回、幾つかのノードのバイパスを備えたリング状に接続されたノードを含んでいる。そのリングは、ノードの数、特定のノード間のトラヒック量および他の設計パラメータによって、

十分に接続されているか、過剰に接続されているかまたは不十分に接続されている。

【0036】(a) 十分に接続された (fully connected) 単一ホップWBRN

十分に接続された網は、単一波長のチャネルが各ノードから他のノードのそれぞれまで直接至るような網となるように決められる。十分に接続された網においては、各リンクの波長チャネルが十分であるので、まっすぐな単一ホップ経路を各ノードから他の各ノードまで設けることができる。好ましくは、同じ数 (Q) の波長が各ファイバースパンに存在すると良い。図4にはそのような網が示されており、同図にはノード (A) に対する接続のみが示されている。

【0037】図4には4つのノード (N=4) の十分な接続に対して全体で6つの波長 (Q=6) が必要とされる。このことは、ノードAに対して示されたパターンを残りの全ノードB, C, Dに回転した後、各ファイバースパンでのチャネル数を数えることによってわかる。各ノードは各ノード上で終わる3つの波長チャネル (C=3) を有している。

【0038】通常のN個のノードの場合には、それらのノードは適当な形態のN個のリンクを用いて十分に接続され得る。そして波長の数Qは以下の等式によって与えられる。

【0039】

【数1】

$$Q[N] = \frac{N(N-1)}{2} \quad (1)$$

【0040】比較のため、ノード間で波長の割り当てを調整することなくスター網で十分な接続をなすためには  $N^2$  個の波長が必要となる。Brackettは、上記論文「Dense Wavelength Division Multiplexing Networks」の中で、波長が全体を調整して割り当てられるならば、換言すれば各受信ノードに対する波長の割り当てがそれに続く各信号発生ノードで周期的に変わらなければ、スター網においてN個の波長のみが必要とされるだけである、ということを指摘している。

【0041】この数は十分に接続されたWBRNに対しておよそ  $N^2 / 2$  であり (式 (1) 参照)、従って波長割り当ての全体調整のあるスター網としないスター網に対する状態の中間になっている。

【0042】式 (1) からわかるように、波長の数Qは網サイズとともに急速に大きくなる。しかしながら、小規模のリング網に対しては、密なWDN技術によって十分な接続に対する十分に大きな波長の数Qの値が得られる。M. Goodmanらによる「The LAMBDA NET Multiwavelength Network: Architecture, Applications and Demonstrations」(IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.8, No.6, 1990, pp.995-1004) の中

で、32個の波長を用いたスター形態システムが実証されている。この波長の数は、十分に接続された8個のノードのリング (Q [8] = 28) に対して十分である。

【0043】(b) 過剰に接続された (overconnected) 単一ホップWBRN

各リンクで使用できる波長の数Qがより大きい場合には、WBRNは「過剰接続 (overconnected)」される。十分に接続されたWBRNは幾つかの経路で容量を超える虞がある。そのような過剰接続の網アーキテクチャが図5に示されている。バイパス形態が図1～図3に示すように交差接続スイッチによって各ノードで制御可能であるならば、過剰なチャネルはそれらを必要とする箇所に配置ことができ、そして顧客の要求に対応して特別に設けられる接続を確立するために選択的に使用され得る。

【0044】「過剰接続 (overconnection)」は十分な接続容量を付加し得る。その場合に、過剰接続された網の通常の動作はその過剰接続によって何ら影響を受けない。各チャネルは波長によって分離されているので、例えばSONETや、全ノード間やあるユーザ集団の間の別の規格のために種々の伝送フォーマットを同時に保持することができる。フォーマットにこだわらないこと、すなわち「透明 (transparency)」であることは広帯域チャネルの構築において重要な利点であると期待される。

【0045】WBRNは、十分に接続された固定の単一ホップ網を達成するためにはスターアーキテクチャよりも多くのWDMチャネルを使用するが、この欠点は過剰接続された網において低減される。その理由は、スター網に対する全体の波長割り当てはより効果が少ないからである。明らかに、どれか2つのノード間にR個のチャネルを同時に提供することは、どちらかの網で少なくともR個の波長が必要とされる。R > Qの場合、必要とされる波長の数に関してはスター網とWBRNとの間に違いはない。

【0046】單一方向の過剰接続WBRNによってなされ得る接続は図5および表1で与えられた例のように決められる。図5においては、図の簡略化のためにノードAに対する接続のみが示されており、ノードAのパターンはノードB, C, Dに対しても繰り返される。付加された接続は点線で示されている。図5の例では、各ファイバースパンに2つの過剰チャネルが設けられており、波長の数Qは図4に示すように4ノードの十分に接続されたWBRNにおいて使用されたQ=6からQ=8に増えている。4ノード網について各ノードから他の各ノードまで行くチャネルの数が表1に示されている。

【0047】

【表1】

表1. 単一方向の過剰接続された網に対する配置順序

	A	B	C	D	A
次の2つを バイパス	AからDへ a	BからAへ c	CからBへ e	DからCへ g	AからDへ a
次の1つを バイパス	AからCへ h	BからDへ b	CからAへ d	DからBへ f	AからC,Dへ h
先のバイパス によって占め られるリンク	C,DからAを バイパス e+f+g	D,AからBを バイパス g+h+a	A,BからCを バイパス a+b+c	B,CからDを バイパス c+d+e	C,DからAを バイパス e+f+g
次のノード	N- (a+h+e+f+g)	N- (c+b+g+h+a)	N- (e+d+a+b+c)	N- (g+f+c+d+e)	N- (a+h+e+f+g)

【0048】表1の各カラムの記載事項はあるノードで始まるチャネルの数であり、それらチャネルが終わるつぎのノードによって体系化されている。バイパスチャネルは適切なつぎのカラムに表されている。例えば、ノードAからノードBまたはノードCをバイパスするチャネルは表の第3行目に記載されている。カラムの合計は各ノードに存在する波長チャネルの数を表しており、波長の数Qを超えることはできない。この合計はあるノードで始まるチャネルにそのノードをバイパスするチャネルを加えてできている。

【0049】表2は、8波長 (Q=8) の4ノードWBRNにおいて達成され得る2つの異なる接続状態を表している。パターン (a) は実際には周期的であり、図5に示すように各ファイバースパンに8波長 (Q=8) を有する単一ホップWBRNとなっている。パターン (b) は実際には周期的でなく、それゆえ多重ホップW

BRNとなっている。これは、ノードAからノードDまで、ノードBからノードDまでおよびノードDからノードAまで直接接続が設けられていないからである。

【0050】この形態は、例えば網のこれらのノード間に小さなトラヒックが生ずる場合に使用されても良い。ノードBはノードDにまったくトラヒックを送っていないが、ノードDからノードBへの接続はある、ということに注意する必要があり、このことはこれらのタイプの網の柔軟性を示している。しかしながら、非周期的なWBRNは、周期的なWBRN、特に後述する不十分に接続されたWBRNで通常用いられているセルフルーティング(自己経路決定)からの恩恵を享受することはできない。

【0051】

【表2】

表2. 過剰に接続された網 (N=4, Q=8) における  
いくつかの接続可能パターン

始端	終端			
	A	B	C	D
A	0	3	1	1
B	2	0	2	1
C	2	1	0	1
D	1	1	1	0
パターン(a): (1,1),(2,1),(1,2),(1,1)				
A	A	B	C	D
	0	3	1	0
B	3	0	3	0
C	1	2	0	2
D	0	1	1	0
パターン(b): (0,1),(3,0),(2,1),(1,1)				

【0052】Q=8の上記例においては、図4に示す十分に接続された4ノード形態と比較して2つの付加的な波長が設けられていることを示している。括弧内の数字は対応するバイパス形態を示している。1番目の数は各ノードから始まって続く2つのノードをバイパスする波長チャネルを表しており、2番目の数はつぎのノードをバイパスするチャネルを表している。全体的な波長調整を行う単一ホップスターで実施した場合、パターン

(a) は5つの波長のみを必要とし、一方パターン

(b) は7つの波長を必要とする。

【0053】(c) 不十分に接続された (underconnected) WBRN

WBRNが8個よりも多くのノードを有する場合、現在および近い将来におけるWDM技術では十分な相互接続のために十分な数のチャネルを用意することは不可能である。不十分に接続された網では、WDM経路は各ノード

ドから他のノードの部分的な集合まで設けられる。バイパスがない場合に必要とされるよりも少ないホップを用いる多重ホップバイパス経路を設けるために、固定された波長バイパス形態が使用され、それによってトラヒック経路および伝送に対する全要求が低減される。図6および図7にはそのような網が示されている。

【0054】図6は、7波長( $Q=7$ )を用いて各ノードからリングの周りのつぎのノード、2番目のノードおよび4番目のノードまでリンクを設けた「バイナリ」と呼ばれる網の形態の一例を示している。同図にはある單一のノードから始まるWDM接続のみが示されており、リングの他のノードについては同じパターンが繰り返される。各ノードでは3波長のチャネルが終端となる( $C=3$ )。

【0055】この網は $C=10g^2$ (N)の直接接続、 $j^{\text{th}}$ の接続が $2(j-1)^{\text{th}}$ の下流側の隣接するノードで終わる。全ての物理的な接続は、ノードからノードまで繋がる單一のファイバ一群上のリング経路にしたがつ

表3. 図6、図7に示す不十分接続のWBRNに対して必要となるノード終端数(C)およびWDMチャネル数(Q)

パターン	C	Q
バイナリ	3	7
リニア	3	6

【0059】周期的なWBRNに対するセルフルーティング法

WBRNの周期的な特性のため、セルフルーティング法について詳述し分析する。リングの周囲のノードの位置を続けて列举することによってノードを特定する場合、発信源および伝送先のノードのアドレスを差し引くことによって、「ルートインデックス」(R I)が各PDUに対して計算され得る。セルフルーティングは、ルートインデックスよりも少ないノードをバイパスする何らかの経路を選択し、またルートインデックスからそのリンク上でバイパスされた実際のノード数を引くことによって、達成される。伝送先が発信源よりも前である場合には、最初にNがルートインデックスに加えられる。

【0060】PDUの伝送は、ルートインデックス(ノードの数を法として表されている)がゼロになる時に達成される。そのようなシステムでは、リンクは直交していない。ハイパーキューブルーティング法と違って、例えば、PDUは所定長のリンクに沿って1回よりも多く巡回する必要があるかもしれない。この特性には、そのルーティング法が、あるノードから所定長の1つのリンクよりも多くのリンクが出るようなバイパスパターンで使用され得る、ということを意味するという利点がある。

【0061】このセルフルーティングを用いる2つの方法がある。そのうちの一つでは、例えばZhangらによる論文「Performance analysis of multi-hop lightwave n

ている。これらのパターンは片方向でのみリングをたどるようになっており、従って各リンクでの伝送は單一方向になっている。この簡素な方法によれば、およそ20ノードまでのリング網において極めて優れたセル損失特性が得られる。

【0056】バイパス接続を変化させることが可能である。図7には付加的なパターンが示されている。図7に示すパターンは、「リニア」と呼ばれ、発信源ノードからそのつぎの3つの隣接するノードのそれぞれまでの單一のリンクからなる。

【0057】周期的な不十分な接続のWBRNにおいては、各ノードで終わる経路数Cはそのノードで始まる経路の数に等しい。図6および図7に示すパターンは表3に示すノード終端数および波長数を有している。WDMリンクで使用される全波長数Qとノード終端数Cとを区別しなければならない。

【0058】

【表3】

etworks with hot porta to routing and distance-age priorities」(IEEE Transactions on Communications、Vol.42、No.8、1994年8月、pp.2571-2581)の中で説明されているように、完全な多重ホップ経路が発信源から最終的な伝送先まで確立される。そのような経路は透明になり得るものであり、一旦経路が確立されればアドレス処理がまったく必要でなくなる。

【0062】もう一つの方法は各单一ホップの後にPDUを記憶および転送装置において電子的に一時記憶保持するものである。この方法は各PDUの電子処理を可能とする伝送速度を制限するが、WDM伝送の並列処理および波長のバイパスによって得られた高速の経路により、既存のWDM技術を伴う既存のファイバーリング網のアップグレードに対してより高い性能が得られる。

【0063】1. 透明(トランスペアレント)な多重ホップWBRN

図8には本発明による透明な多重ホップ網におけるセルフルーティングに対する簡素化されたモデルが示されている。ステップ100では、あるノード(例えばA)から始まる既に確立された全ての経路(C)はPDU伝送の終了時にクリアされる。ステップ110では、1つの新しいPDUが、ノードAに接続された端子からの入力に対応するノードAのバッファ内に格納される。

【0064】ステップ120では、バッファ内の全てのPDUが任意の順序で相次いで読み出され、多重ホップ接続を介してその伝送先のそれぞれへ至る経路を決める

ためにある試みがなされる。ステップ130で決定されるように、その接続が他と競合せずにされ得る場合には、ステップ150へ進んで発信源ノードのバッファからPDUが消去され、そしてステップ160へ進んでその使用されたリンクには占有されていることを示すフラグが立てられる。

【0065】PDUが経路を決められない場合には、ステップ140に進んでそのPDUは発信源のバッファ内に再格納される。ステップ160に統いてステップ170で決められるようにバッファが満杯でない場合には、ステップ180へ進んで新しいPDUがノード端子から受領される。それからその処理が繰り返され、同じ手順が網の各ノードで同時に適用される。

【0066】透明な多重ホップ網は、多くのPDUが一度に伝送され、リンクが確立される場合、例えば各ノードに個別のバッファを保持し、そのバッファが伝送先によって仕分けされるようにすることによって、最も効率よく動作する。モデル化するため、そのような手順はPDUを長くするのと同じであり、その結果を変えない。

【0067】PDUは一旦ノードに受領されると消えることはない。すなわち、PDUは、ノードのバッファが満杯で発信元によって送られたPDUを受領することができない場合にのみ失われる。

【0068】ある概算がバッファ長および網におけるノードの数の制限についてなされ、バッファのオーバーフローによって設定される。各ノードがそこから出て行くC個のチャネルとそこに入ってきて終わるC個のチャネルを備えたWRNが与えられた場合、あるノードのバッファ内にPDUを格納する確率 $p_b$ は、そのPDUがノードから出る経路を見つけることができない確率である。

【0069】ノードから出る経路を見つけることができない理由は、既に網の多重ホップ経路にしたがう他のPDUがその出て行く接続に対する優先権を得ているからである。前のノードから発せられたあるPDUが考慮中のノードでのホップを必要としない確率 $p_b$ は、単純に可能なアドレスの全数に対する2つのノード間のアドレスの数の比である。

【0070】

【数2】

$$p_s = \frac{s-1}{N-1} \quad (2)$$

【0071】ここで、 $s-1$ は考慮中のノードから発信源ノードまでのノード数である。到達するPDUが外に出る経路をまったく必要としない確率 $p_b$ は、網の全てのノードについての確率を含むように考慮する必要がある。

【0072】

【数3】

$$p_h = \prod_{s=1}^{N-1} p_s \quad (3)$$

【0073】あるホップが生じる可能性は $(1-p_h)$ である。C個の外に出る経路がある場合、その全ての経路が使用される可能性はつぎの式で表される。

【0074】

【数4】

$$p_b = (1-p_h)^C \quad (4)$$

【0075】新しいPDUが占有されていない経路を見出でそのノードのバッファに格納されずに済む確率を $p_c$ とする。C個の経路が利用可能である場合、同時に占有されていない利用可能なC個の中からn個の経路を利用する全確率はつぎの式で表される。

【0076】

【数5】

$$p_n = \frac{C!}{(C-n)!n!} p_c^n \quad (5)$$

【0077】同時に占有されていない利用可能なn個のみの経路の中からn個の経路を利用する全確率はつぎの式で表される。

【0078】

【数6】

$$p_n = p_c^n - p_c^{n+1} \quad (6)$$

【0079】従ってバッファからPDUを読み出す確率はつぎの式で表される。

【0080】

【数7】

$$\sum_{n=1}^C n \cdot p_n \quad (7)$$

バッファが一杯になる確率がバッファが空になる確率よりも小さい場合にのみその網は安定し、その条件はつぎの式で表される。

【0081】

【数8】

$$p_b \leq \sum_{n=1}^C n \cdot p_n \quad (8)$$

【0082】確率 $p_b$ および $p_n$ はノードの数(N)および各ノードで終わる波長チャネルの数(C)に依存しているが、しかし特定のバイパス形態には依存していない。従って、以下に説明する結果は不十分な接続のWRNの種々のパターンで得られたものである。

【0083】図9には、透明な多重ホップWRNにおいて支持され得るノードの数 $N_{max}$ が、ノードで終端となるチャネル数Cの関数として示されている。図9のグラフは $C=Q$ の場合のゼロバイパスパターンを示してい

る。9ノードまでの網では波長よりもノードの方が多くなり得るので、スター網よりも波長チャネルを効率よく使用している。しかしながら、この効率のよさは網がより大きくなると急速に低下する。ノードの数は利用するWDM技術に伴っておよそ10個までに制限される。

【0084】図10には、セル損失率がC=6の場合のWBRNに対するバッファ長Bの関数として表されている。再びゼロバイパス形態が用いられている。損失率は全ノードにより生成される全数に対する配信されたセルの全数の比として計算される。その損失率は8ノードのWBRNではバッファサイズに伴って減少する。損失率は、バッファが常時ではなく時々満杯になる場合に、バッファサイズにより決まる。N=9の場合には損失率は高いままであってバッファサイズに依らず、バッファの格納する率が読み出す率よりも高くてバッファが常時満杯になっていることを示している。図9から、実際にはC=6に対して $N_{max} = 8$ が制限であると予測されることがわかる。

【0085】図11は図7に示すリニア網形態でノード数が6, 7および8の場合のセル損失率を示している。その損失率はN=6およびN=7のWBRNではバッファ長に伴って減少しているが、N=8のノード数ではバッファ長の影響はない。C=3に対する上限が $N_{max} = 7$ であることは図9と一致している。

【0086】透明な多重ホップ網におけるブロッキングの問題は、Zhangらにより論文「Performance Analysis of Multihop Lightwave Networks with Hot Potato Routing and Distance-Age-Priorities」(IEEE Transactions on Communications, Vol.42, No.8, 1994年8月)の中で言及されている。光チャネルで可能となる極めて高いデータ速度は再転送により生じる問題を補償するのに十分な容量を有している、ということが提案されている。与えられたトラヒック定数を保ちながらWDMチャネル速度を増大することは、それに比例して $N_{max}$ を増大することになる。そのような加速は、電子的に達成され得るよりも高速の信号を生成するために光技術を必要とする。

#### 【0087】2. 記憶および転送(store-and-forward) ) 多重ホップWBRN

終端から終端までの透明な多重ホップ法の代わりは、PDUをその伝送先へ向けてできるだけ遠くへ搬送し、中間ノードに到着した場合にはそこから外へ出る経路を利用せずにそのPDUを一時的に記憶する方法である。この手法は、高容量の透明な経路を保証することを諦めるものであるが、利点もある。例えば、ブロッキングが低減されるとともに送信ノードによって経路確認情報がまったく不要となり、そのためセルフルーティングが各PDUで可能となる。図7および図6に示すようなバイパス網形態は利点となり得る。その理由は、そのようなバイパス網形態は、ノードにおいてトラヒックを扱う際の

幾つかの要求を回避する、固定された透明な経路を構にもたらすからである。

【0088】記憶および転送WBRNに対する経路選択法の一例が図12に示されている。ステップ200ではPDUがあるノード(例えばA)でリードされ、そのノードはステップ210でバッファが満杯であるか否かを判定し、満杯である場合にはそのPDUは捨てられる。ステップ210でバッファが満杯でない場合には、そのPDUはステップ220でそのバッファ内に格納される。ステップ230およびステップ240では、そのノードは完了した伝送を調べて空いている経路R<sub>i</sub>を検索する。

【0089】空いている経路R<sub>i</sub>が見つかった場合には、ステップ250でルートインデックス(i)が進められ、そしてステップ260でそのインデックスがノードAで始まる経路の数(C)よりも大きいか否か判定される。ステップ260で大きい場合には、ステップ270へ進んで(i)がゼロにリセットされ、そしてステップ250およびステップ260が繰り返される。ステップ260でi < Cの場合には、ステップ280へ進んでPDU<sub>k</sub>がノードバッファから読み出され、そしてこのPDU<sub>k</sub>に対するルートインデックス(RI)ノードバッファから読み出される。ステップ290で、空いている経路R<sub>i</sub>の長さが(RI)よりも小さいと判定された場合には、ステップ300へ進んでPDU<sub>k</sub>は再びバッファ内に格納され、ルートインデックスが進められるなどする。

【0090】ステップ250～ステップ300は、ルートインデックス(RI)に等しいかそれよりも長い経路R<sub>i</sub>が見つかるまで繰り返される。続いて、ステップ310で経路R<sub>i</sub>が空いていると判定され、かつステップ320でR=RIの場合には、PDU<sub>k</sub>は送信先ノードへ転送され、そしてこの方法は別のPDUの経路を決めるためにステップ250へ戻り繰り返される。

【0091】ステップ310で経路R<sub>i</sub>が空いていないと判定された場合には、PDU<sub>k</sub>はバッファ内に再格納され、ステップ250～ステップ310に示すように別の経路が探される。ステップ320の判定結果が「NO」の場合(R=RIでない場合)には、ルートインデックスR<sub>i</sub>がRIよりも大きいことを意味し、ステップ340においてPDUは中間ノードへ転送されて記憶され、そして別のPDUの経路を決めるためにステップ250へ戻る。

【0092】図7に示すようなリニア形態の記憶および転送WBRNに対するオーバーフローを避けるのに必要なバッファサイズを確保するために概算が行われる。PDUが中間ノードへ配信されて送信先へ到達する確率は、可能なアドレスの数(N-1)に対する各ノードで始まる異なる経路の数Cの比で求められる。従って、中継処理を行うノードを通過するセルの比率は(N-1 -

$C) / (N-1)$  である。N個のノードのそれぞれで単位時間当たりPDU1つという与えられた負荷の場合には、全体のPDUの生成速度はNである。N個のノードに安定した状態で記憶されているPDUの全数は次式で表される。

【0093】

【数9】

$$N \times N \times \sum_{j=1}^N \left\{ \frac{N-1-C}{N-1} \right\}^j \quad (9)$$

【0094】網は安定状態で記憶されたPDUの全数に適応し得るようになっていなければならぬ。記憶されたPDUがノード間で単一的に配信されるような概算を用いると、各ノードで必要とされるバッファ長Bは次式で表される。

【0095】

【数10】

$$B = \frac{N^2 - N \times (C+1)}{C} \quad (10)$$

【0096】図13には、C=2、C=3およびC=4のWBRNアーキテクチャに対するバッファの要求がノード数の関数としてプロットされている。B=10およびB=20における線は、以下に説明するシミュレーション結果についての説明のために記されている。図9と図13を比較すると、B=10および同じ波長チャネル数Qに対しては、ノード数の制限は、バイパスのない透明な多重ホップ網とリニアバイパス形態の記憶および転送網についてほぼ同じである、ということは明らかである。従って、図9はC=3に対して最大値N=7であり、C=4に対して最大値N=8であることを示しており、また図13はP点およびR点においてノード数の最大値N=7およびN=8を示している。

【0097】しかしながら透明な多重ホップ網における制限は、バッファサイズよりはむしろブロッキングによって設定されている。記憶および転送網はバッファ長が大きくなることによってより大規模になり得る。

【0098】以下のシミュレーションにおいては、10<sup>5</sup>のセルが均一なアドレス配分でもって生成され、同様のWDMおよび電子的な条件を備えた「リニア」網および「バイナリ」網を介して経路が決められた。計画された網特性の測定値はセル損失率と、セルがあるノードバッファのエヌ経路(en route)内に格納されている平均時間数である待ち時間である。「リニア」網は6つの波長(Q=6)を使用し、一方「バイナリ」網は7つの波長(Q=7)を必要とした。

【0099】図14では、C=3でバッファ長が10セルおよび20セルの「リニア」形態の記憶および転送WBRNに対するセル損失の計算値がノード数の関数としてプロットされている。そのグラフには、これらのバッファ長に対するノード数の最大値N<sub>max</sub>=8および10

が縦の線によって示されている。ノードの数がN<sub>max</sub>を超える場合には、セル損失率は網の規模とともに急速に悪化し、図13に通ずる予測を確実にする。

【0100】図15には、全てのバッファ長を10に設定したリニアおよびバイナリ網のセル損失率が示されている。リニアシステムは図14に示すのと同じであり、バイナリパターンはQ=7、C=3を使用した。全てのケースにおいて、ノード数には、超えると特性が急激に悪化するしきい値が存在する。最も優れた特性は、示された範囲に亘ってバイナリ形態で得られている。これらの曲線、特にバイナリWBRNに対する曲線には不規則な部分が存在する。この現象は双方向網に関連してつぎで検討される。

【0101】リニア網において加速されたバイパス経路は、ゼロバイパス網と比較して待ち時間を減少することを期待される。図15におけるように同じリニア、バイナリおよびゼロオーダー網に対して図16に示された待ち時間の値は、この期待を確実にする。

【0102】(d) WBRNにおける双方向伝送  
双方向伝送もWBRNのリンク上で可能である。双方向伝送は困難をもたらすが、例えば光増幅システムにおいては、双方向伝送によって、与えられた波長数に対して十分に接続された網に適合し得るノード数が増大する。図17には、5ノード(N=5)の十分に接続された双方向伝送のWBRNに対する基本的な接続パターンが示されている。このパターンは各ノードにおいて繰り返され、双方でカウントすると各スパンで全部で6つの独立したチャネルが必要とされる。従って、図4に示す單一方向のWBRNにおいてよりももう1つ多くノードを適合させることができる。一般に、Nノードの十分に接続された双方向のWBRNに必要とされる波長数Q<sub>b</sub>は次式で表される。

【0103】

【数11】

$$Q_b = \frac{N^2 - 1}{4} \quad (11)$$

【0104】ここで、Nは奇数である。さらに必要とされる波長数はNの2乗に従って増大するが、小規模な網では比較的少ない波長が必要とされる。

【0105】過剰に接続された双方向のWBRNは、同じ波長チャネル数ならばスター網よりも多くの接続をもたらし得る。表4は、8波長(Q<sub>b</sub>=8)を用いた4ノードの双方向WBRNにおいて確立され得る接続パターンを示している。9波長チャネルを用いて調整されてなる波長を有するスター網でも同じ接続パターンが達成され得る。

【0106】

【表4】

表4. 過剰に接続された双方向網 (N=4, Q=8) における接続パターン

始端	終端			
	A	B	C	D
A	0	3	1	4
B	3	0	3	0
C	1	2	0	2
D	4	1	1	0

【0107】不十分に接続されたWBRNは、各方向において利用できる波長の幾つかを用いてチャネルの分離および方向の分離の両方を行うように波長選択することによって、双方向の単一ファイバースパンで動作され得る。図18は双方向伝送の8ノードのWBRNを示している。図示されたパターンはQ=6の波長を必要とし、前の2つと後の2つの各ノードに接続しており、C=4すなわち(+2, -2)と表される。その網は両方向において「バイナリ」または「リニア」の形態を有するようにみなされ得る。

【0108】本質的に、この経路決定法は、單一方向網に対するのと同様に双方向網に対しても使用され得る。s<sup>th</sup>手前のノードへの逆方向接続は、その接続が(N-s)<sup>th</sup>後のノードへの順方向接続であるかのように扱わてもよい。その理由は、この経路決定法が実際に選択される物理的な経路ではなく論理的な経路に関するからである。しかしながら、1つの変更をする必要がある。單一方向の方法では、最初にルートインデックスと一致する可能なかぎり最も長い経路がさがされる。

【0109】この処理は、一方向にのみ向かうセル(un deflected cells)ができるだけ短いステップで單一の方向から目標点へ近づく、ということを意味する。万一、セルが目標点の後側、すなわち順方向に進んだ側にある場合にはセルは網全体を回らなければならない。この方法は、セルに対してN/2よりも大きいRIを有する逆向きのルートをさがす双方向網にとって代わられる。

【0110】1單一方向網と比較して高い特性が得られる。図13は、C=4でバッファ長が10セルの單一方向のリニア網に対して最大ノード数9が予測される、ということを示している。そのような網は、Q=10の波長を必要とする。図19はQ=6でC=(+2, -2)の双方向網に対するセル損失の計算値を示している。各ノードでの全接続数はC=4であるが、これをなすために単一方向形態の場合よりも必要な波長が少なくなる。予測された上限である9ノードは認められず、むしろ双方向網の場合にはおよそ14ノードまで向上している。

【0111】特性の向上は各方向を半分のノード数の独立した網としてみるとことによって理解され得る。C=2のリニアWBRNに対する最大ノード数は図13から6ノードであることがわかる。双方向網ではこの値の2倍

よりも幾らか優れた特性が認められる。双方WBRN全体では、与えられた波長数Qに対してノード接続数Cがより大きいことと、与えられたノード接続数に対してより大きなノード数が支持される、という2つの利点を有する。

【0112】曲線に認められる不規則性はバイパス接続とリングにおけるノード数との間の調和関係の結果である。例えば、リニアバイパス形態最におけるも長い接続はあるノードから第2のノードへリングに沿って何れかの方向で行く。リングが偶数個のノード数を有する場合、最も長い経路は自力で半分の可能な伝送先に経路を譲ることができず、それゆえ効率の良い接続性が低減されてしまう。それに対応してセル損失率は偶数個のノードを有するWBRNに対して幾らか上がっている。

【0113】また図19は單一方向網に対するのと同様に、バイパス接続があることによってセルの遅延特性が改善されていることも示している。

【0114】図20はC=(+2, -2)の双方向のリニア形態、およびC=(+3, -3)のゼロバイパス形態における待ち時間を示している。図20を図16と比較すると、同じノード数での待ち時間は双方WBRNのほうが單一方向網よりも低くなっていることがわかる。

【0115】以上、本発明は特定の具体例を挙げて説明されたが、特許請求の範囲の記載事項の範囲で、より広い範囲における発明の視野から逸脱することなく、当業者の想到し得るさらなる変更や改善がなされてもよい。

#### 【0116】

【発明の効果】以上説明したとおり、この発明に係る波長バイパスリング網および光リング網においてトラヒックの経路を決める方法にあっては、現在利用可能な單一ホップおよび多重ホップの光網の不都合を全体的にまたは部分的に回避するバイパスされた波長リング網を提供することができる。

【0117】また、容量の拡大および経路決定の両方を提供するために比較的小規模な光リング網の接続点において固定経路のWDMチャネルを用いた網アーキテクチャを提供することができる。波長チャネルは、その幾つかが各ノードをバイパスしてさらにリングに沿って終わるように決められ、実際に促進された光経路を提供することができる。バイパス経路上の信号は中間ノードによって処理されず、装置に対する要求全体を低減すること

ができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】波長バイパスリング網（WBRN）に対する電子的にスイッチングされるノードを示す図である。

【図2】WBRNに対する光学的および電子的にスイッチングされるノードを示す図である。

【図3】WBRNに対する光学的にスイッチングされるノードを示す図である。

【図4】4ノードおよびファイバースパン当たり6波長を有する十分に接続されたWBRNに対するバイパスパターンを示す図である。

【図5】4ノードおよびファイバースパン当たり8波長を有する過剰に接続されたWBRNに対するバイパスパターンを示し、ファイバースパン当たり2つの経路による過剰接続を示す図である。その図である。

【図6】8ノードおよびファイバースパン当たり7波長を有する不十分に接続されたWBRNに対するバイナリバイパスパターンを示す図である。

【図7】8ノードおよびファイバースパン当たり6波長を有する不十分に接続された單一方向のWBRNに対するリニアバイパスパターンを示す図である。

【図8】透明な多重ホップWBRNのノードで用いられるセルフルーティング法のフローチャートである。

【図9】透明な多重ホップ網に対する最大ノード数を波長数（Q）と同じノードで終端となるチャネル数（C）の関数として示すグラフである。

【図10】8ノードおよび9ノードの終端に対して、透明な多重ホップWBRNに対するセル損失率をバッファ長（B）の関数として示すグラフである。

【図11】N=6, 7, 8に対して、リニア透明多重ホップWBRNに対するセル損失率をバッファ長の関数として示すグラフである。

【図12】記憶および転送WBRNのノードで用いられるセルフルーティング法のフローチャートである。

【図13】C=2, 3, 4に対して、記憶および転送リ

ニア形態に対して必要とされるバッファ長をノード数の関数として示すグラフである。

【図14】B=10, 20のPDUに対してQ=6でC=3の記憶および転送リニア形態に対するセル損失率をノード数Nの関数として示すグラフである。

【図15】Q=7でC=3のバイナリ網、Q=6でC=3のリニア網およびQ=6およびQ=4の2つの0バイパス網に対してそれぞれセル損失率をノード数Nの関数として示すグラフである。

【図16】Q=7でC=3のバイナリ網、Q=6でC=3のリニア網およびQ=6およびQ=4の2つの0バイパス網に対してそれぞれ待ち時間をノード数Nの関数として示すグラフである。

【図17】5ノードおよびファイバースパン当たり7波長を有する不十分に接続された双方向のWBRNに対するリニアバイパスパターンを示す図である。

【図18】8ノードおよびファイバースパン当たり6波長を有する不十分に接続された双方向のWBRNに対するリニアバイパスパターンを示す図である。

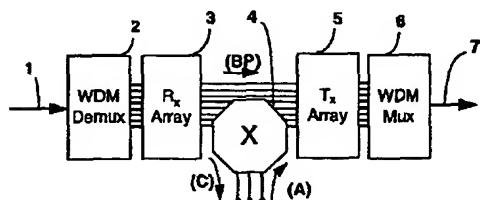
【図19】Q=6の双方向WBRN、C=（+2, -2）のリニア形態およびC=（+3, -3）の0バイパス形態におけるセル損失率を示すグラフである。

【図20】Q=6の双方向WBRN、C=（+2, -2）のリニア形態およびC=（+3, -3）の0バイパス形態における待ち時間を示すグラフである。

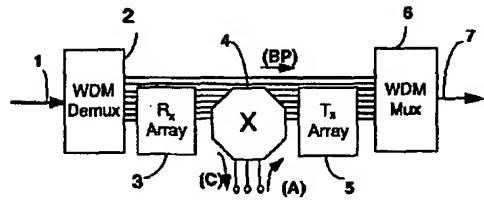
【符号の説明】

- 1 入力光信号
- 2 デマルチブレクサ
- 3 受信アレイ
- 4 交差接続スイッチ
- 5 送信アレイ
- 6 マルチブレクサ
- 7 出力光信号
- 8 送受信ブロック

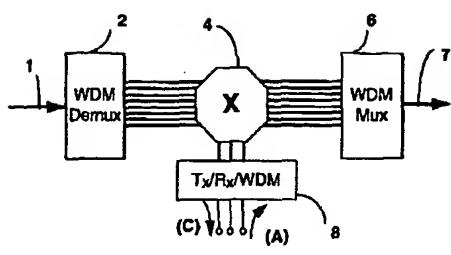
【図1】



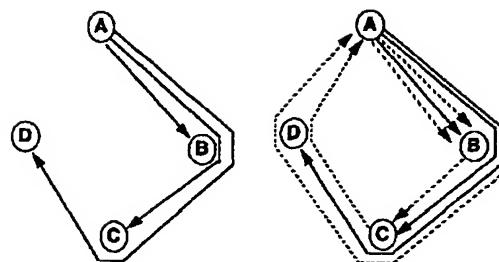
【図2】



【図3】

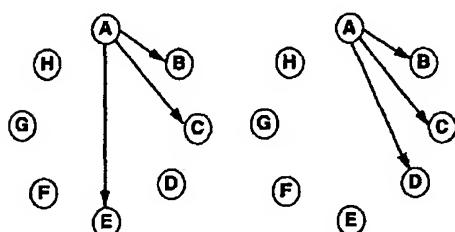


【図4】

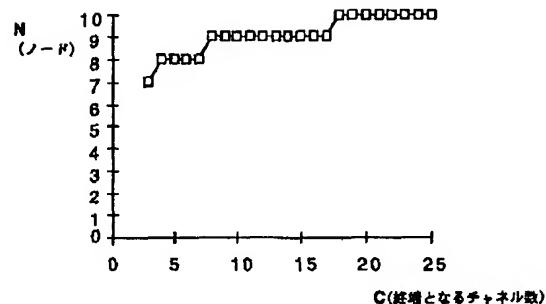


【図5】

【図6】

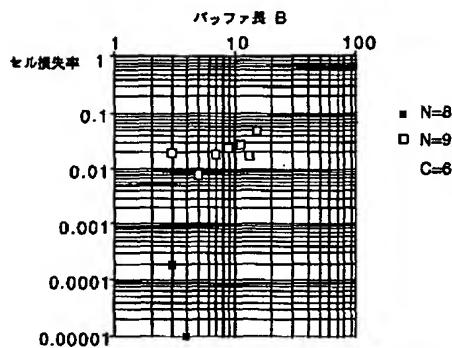


【図7】

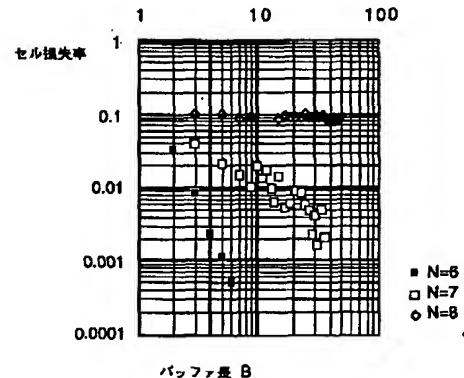


【図9】

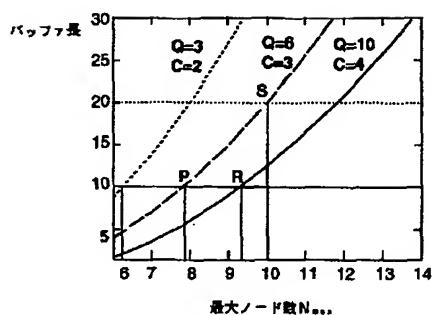
【図10】



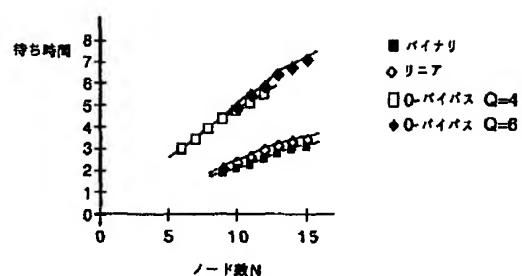
【図11】



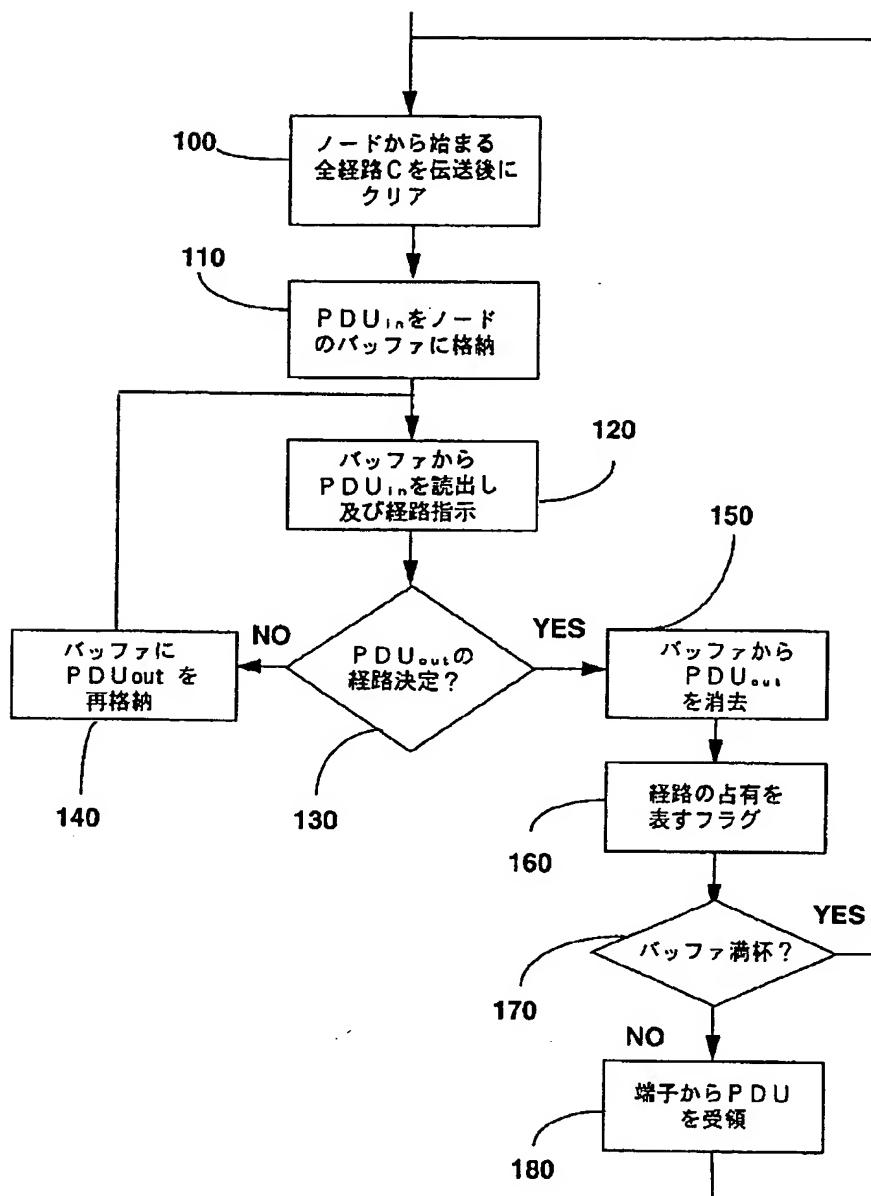
【図13】



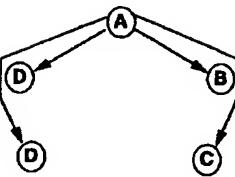
【図16】



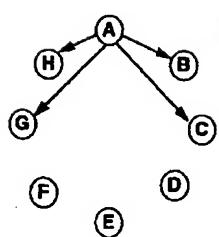
【図8】



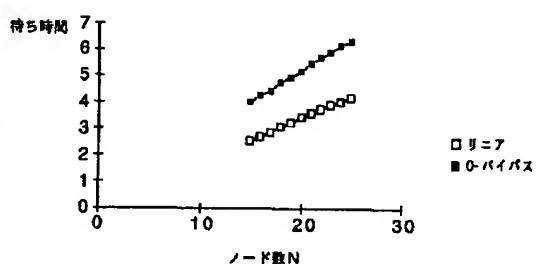
【図17】



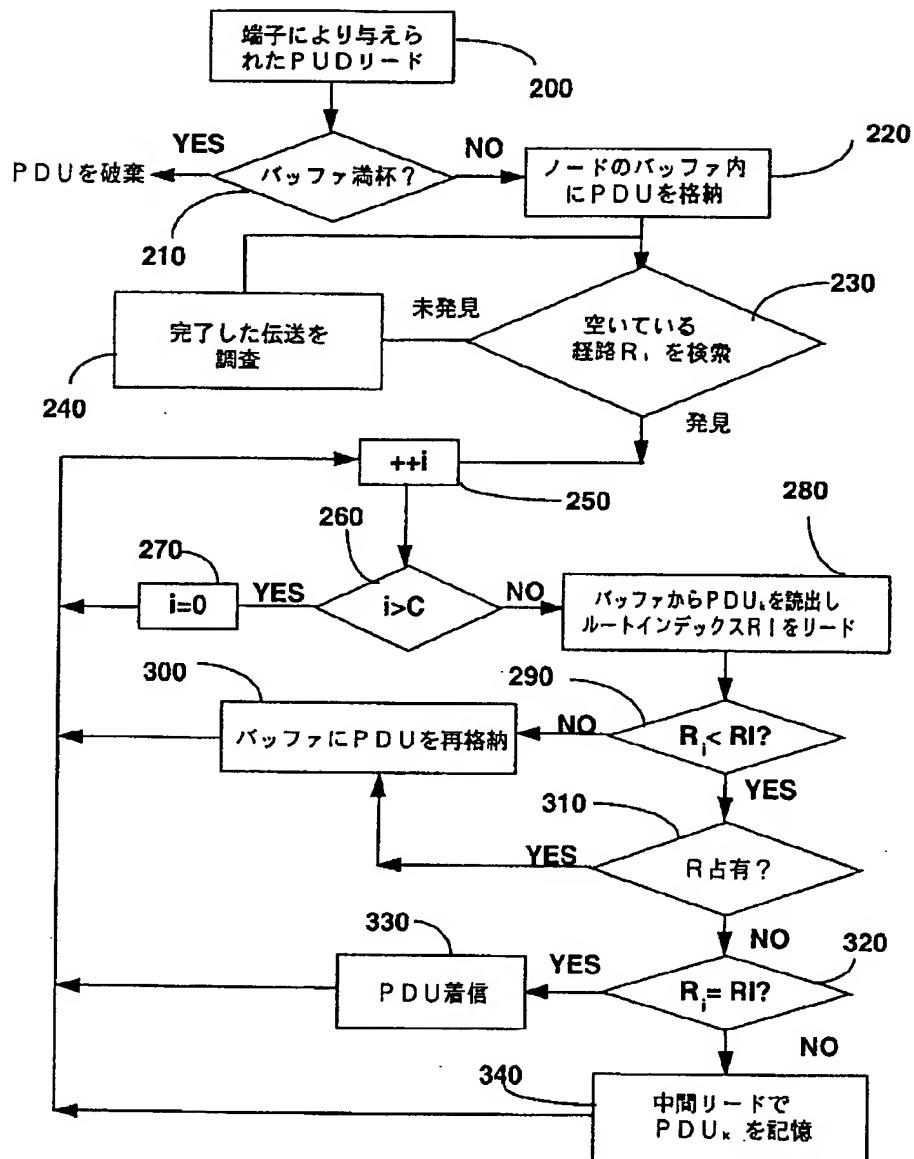
【図18】



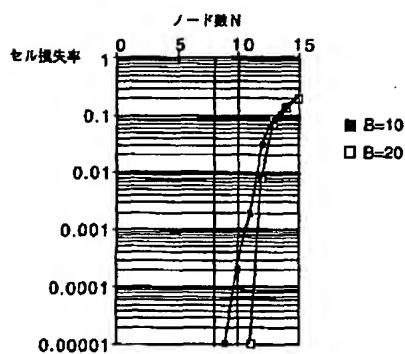
【図20】



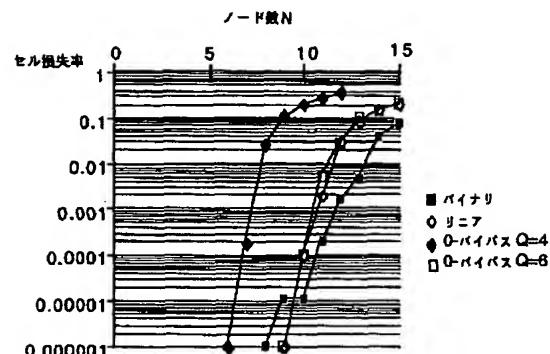
【図12】



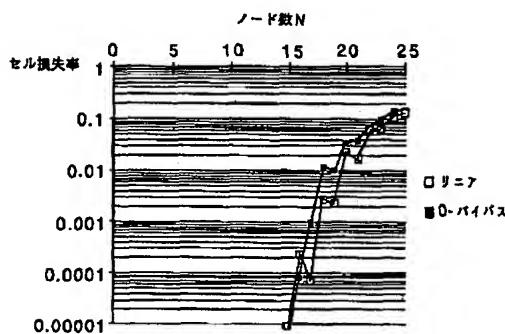
【図14】



【図15】



【図19】



## フロントページの続き

(72)発明者 アール. イアン マクドナルド  
カナダ国, ティー6 ジェイ 3イ-4, ア  
ルバータ, エドモントン, 108ビー スト  
リート 3305

(72)発明者 ハーマン ダブリュ. ウィルムセン  
カナダ国, ケイ2エス 1イ-4, オンタ  
リオ, スティッヅビル, ハンペル クレセ  
ント 3